

携帯端末が協力・連携すると何ができるか

京都大学 情報学研究科 准教授 ^{むらた ひでかず}村田 英一さん

筆者は子どもの頃に電子工作から無線に興味を持った世代で、当時は田舎の小さな書店でも電子工作関係の子供向け雑誌が容易に手に入った。そして筆者にとって最も魅力的だったのは、これら雑誌に掲載されていた無線関係の簡単な装置を作ることだった。当時、これら雑誌に掲載されている回路図や部品について母に質問してよく困らせていたのを憶えている。見よう見まねで簡単な発信機を作って、隣の部屋の短波ラジオ（当時はある程度普及していた）に「ピー」と音が入る。たったそれだけで面白くてしょうがなかった。もちろん、お年玉はすべて部品と工具代となる。

その頃の日々の生活の中で一般人が持っている「電波を送信する機器」はほとんどなく、あってもワイヤレスマイクやラジオコンぐらい。一部の人がアマチュア無線や市民ラジオ（いわゆるCB無線）を使っていた。それから40年、ごく普通の人が高度な電波を出す装置をいつも携帯するようになった。そして「周波数が足りない」。この対策が私の研究テーマである。

専門的には、このように増大し続ける無線通信トラフィックを収容するために利用可能な周波数帯域の拡大が行われ、それと並んで周波数利用効率の向上が重要とされる。その基盤技術としてMIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送がある。これは、同じ周波数で異なる信号を同時に送信し、それらすべて受信できるいわゆる「聖徳太子」のような送受信機を作る技術である。

筆者は大学院修了直後にこの技術に着目し、実験装置で動作の検証と、特有の課題の解決に取り組んだ。これは、20世紀の常識としては本来避けるべき

同一周波数干渉を自ら作ってしまっており、研究初期には学会などでいろいろなご意見を頂戴し、充実した研究活動となった。現在、MIMO伝送は携帯電話や無線LANで広く実用化されている。

このMIMO伝送の通信路容量（誤りなく伝送できる最大情報レート）は送信アンテナ数と受信アンテナ数の少ない方にほぼ比例することが理論的に示されている。このためアンテナ数（送受信機数）を増やすと周波数利用効率が向上する。しかし、小型である携帯端末では物理的制約から多数のアンテナを備えることは難しく、ノートPCでも2アンテナか3アンテナである。このため、伝搬路での干渉の仕方をコントロールするような技術（プリコーディング技術）が研究開発されたが、干渉の仕方の変化が速い移動環境への適用は難しい。

さて、筆者の最近の研究は複数の移動端末が協力・連携して基地局と通信することである。現在、携帯端末は独立して基地局と通信を行っている。周囲に電波状態が良い端末があっても、能力が余っている端末があっても、その間に協力関係は築かれていない。最近では一人が複数の無線通信デバイスを持つこともあり、人が集まればそこには数十、数百の移動端末などが存在する。しかしそれらは、他と独立に動作するか、場合によっては競合関係にある。

もしそれら周囲の端末が何らかの方法で協力できれば、等価的なアンテナ数が増大してMIMOの通信路容量を拡大できる。競合していると1つのパイを分け合い、その取り分の話になってしまうが、協力してMIMO伝送を行えば、全体のパイが大きくなるのである。



Profile

1991年京都大学工学部電子工学科卒業。1993年同大学院修士課程修了。同大学助手、東京工業大学助教授を経て2006年より現職。ワイヤレスネットワーク、無線伝送方式の研究に従事。2000年エリクソンヤングサイエンティストアワード、2006年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞、電子情報通信学会論文賞などを受賞。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、IEEE各会員。

もちろん基地局側の対応が必要なのでそれほど簡単ではないが、例えば50人の端末を巻き込めば1端末あたり2つのアンテナを備えることが多いため、端末群側は等価100アンテナなどが実現できるわけである。これまで、多数の人が同時に通信を行うと通信速度の低下は免れなかったが、協力すればMIMO伝送の容量が協力人数にほぼ比例して拡大し、理論的には速度低下が起きないことになる。もちろん、状況の良い端末に通信を依頼することや、バッテリー残量に余裕がある端末が処理を代行するなど、多様な協力・連携関係を考えることもできる。

この技術を端末連携送受信技術と呼ぶとする。最大の課題は、その端末間の連携のための周波数帯域が必要となり、周波数利用効率改善の観点からは両立せず、トレードオフに陥ることである。しかし、今後導入される5Gスモールセル用に高周波数帯の送受信機が搭載されると見込まれることから、スモールセル外においてこの高周波数帯を高速低遅延が求められる端末間通信に活用できる。

端末間でのこのような連携・協力は多数の端末が存在しつつ相対位置の変化が小さい環境に適しており、電車・バス内などの移動体内への適用が1つの有力なシナリオとなる。このようなグループモビリティは、プリコーディング技術では伝搬路の速い変動のため対応が難しい一方で、端末連携送受信には特に適している。また、グループモビリティに限らず、高いアンテナ自由度を活かしてセル間干渉対策などとしても端末連携は有効であると考えられる。

この方式ではプリコーディングに見られた伝搬路変動に対する脆弱性がほぼ解消される。連携する端

末間はある程度離れていると考えられるため、アンテナ間相関が小さいことも期待され基地局が対応すれば効果的にMIMO多重数（ストリーム数）が拡大し、周波数利用効率は飛躍的に向上する。

従来、無線中継回線や3G携帯電話システムにおけるソフトハンドオーバーなどでは、固定設置された複数の無線局が1つの通信に関与していた。しかし、移動端末が連携し端末グループを構成することによって信号送受信能力を高める端末連携通信はこれまで実現例もなく、その可能性と実現性がようやく認識されて来たところである。この方式は連携がもし理想的であれば、アンテナ配置とハードウェア関連事項を除き、従来のシングルユーザMIMOと数式上は一致するものであるが、移動体内での端末間通信は意外と不安定であることが判明しており、伝搬環境や連携が理想的ではない場合について取り扱うことが重要である。このため、特に伝搬環境の状況や各種ハードウェア特性を考慮した研究を行っている。

将来、電車・バス内に限らず、イベント会場など人が集まり電波需要が高い場所において周辺の携帯端末が近距離で高速な通信で結ばれ、1つのグループとして基地局と送受信を行う、そういう時代が到来するのかも知れない。無線通信の技術者にとってはどのようにして端末群構成と無線伝送を最適化するなど研究課題も多い。このシステムでは端末が分け隔てなく相互に自由に結ばれることが理想であり、実用化にあたっては標準化が不可欠である。新しい考え方であり世界的にも研究者はまだごく少数である。このシステムの将来の実現に向けて、微力ながら研究開発を進めている。